

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

147017-00
SHIOZAKI et al
1/22/2004

McDermott Will & Emery LLP

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
in this Office.

出 願 年 月 日 2003年 2月18日
Date of Application:

願 番 号 特願2003-040196
Application Number:

[T. 10/C]: [JP2003-040196]

願 人 住友電気工業株式会社
Applicant(s):

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2004年12月15日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0056

【提出日】 平成15年 2月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 5/18

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

 【氏名】 塩▲崎▼ 学

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

 【氏名】 茂原 政一

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

 【識別番号】 100092657

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 回折格子素子および回折格子素子製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 互いに平行な第 1 平面および第 2 平面を仮想したときに、前記第 1 平面より外側に前記第 1 平面に接して設けられた第 1 媒質（屈折率 n_1 ）と、

前記第 1 平面と前記第 2 平面との間に、前記第 1 平面および前記第 2 平面に接して、前記第 1 平面に平行な所定方向に交互に設けられて回折格子を形成している第 2 媒質（屈折率 n_2 ）および第 3 媒質（屈折率 n_3 、ただし、 $n_3 < n_2$ ）と、

前記第 2 平面より外側に前記第 2 平面に接して設けられた第 4 媒質（屈折率 n_4 ）と、

を備え、

前記第 1 媒質、前記第 2 媒質、前記第 3 媒質および前記第 4 媒質それぞれの屈折率 $n_1 \sim n_4$ が「 $n_3 < n_1 < n_2$ 、 $n_3 \leq n_4 \leq n_2$ 」または「 $n_3 \leq n_1 \leq n_2$ 、 $n_3 < n_4 < n_2$ 」なる関係式を満たし、

前記第 2 媒質および前記第 3 媒質の双方が固体である、

ことを特徴とする回折格子素子。

【請求項 2】 互いに平行な第 1 平面および第 2 平面を仮想したときに、前記第 1 平面より外側に前記第 1 平面に接して設けられた第 1 媒質（屈折率 n_1 ）と、

前記第 1 平面と前記第 2 平面との間に、前記第 1 平面および前記第 2 平面に接して、前記第 1 平面に平行な所定方向に交互に設けられて回折格子を形成している第 2 媒質（屈折率 n_2 ）および第 3 媒質（屈折率 n_3 、ただし、 $n_3 < n_2$ ）と、

前記第 2 平面より外側に前記第 2 平面に接して設けられた第 4 媒質（屈折率 n_4 ）と、

を備え、

前記第 1 媒質、前記第 2 媒質、前記第 3 媒質および前記第 4 媒質それぞれの屈折率 $n_1 \sim n_4$ が「 $n_3 < n_1 < n_2$ 、 $n_3 \leq n_4 \leq n_2$ 」または「 $n_3 \leq n_1 \leq n_2$ 、 $n_3 < n_4 < n_2$ 」なる関係式を満たし、

前記第1媒質または前記第4媒質が等方性材料からなる、
ことを特徴とする回折格子素子。

【請求項3】 前記第1平面と前記第2平面との間における平均屈折率を n_{av} としたときに、前記第1媒質の屈折率 n_1 が「 $n_{av} - 0.2 \leq n_1 \leq n_{av} + 0.2$ 」なる関係式を満たす、ことを特徴とする請求項1または2に記載の回折格子素子。

【請求項4】 前記第4媒質の屈折率 n_4 が「 $n_{av} - 0.2 \leq n_4 \leq n_{av} + 0.2$ 」なる関係式を満たす、ことを特徴とする請求項3記載の回折格子素子。

【請求項5】 前記第1平面に垂直な方向についての前記第1媒質の厚みが $5\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1または2に記載の回折格子素子。

【請求項6】 前記第1平面に垂直な方向についての前記第4媒質の厚みが $5\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項5記載の回折格子素子。

【請求項7】 互いに平行に順に並んだ第1～第4平面を仮想したときに、前記第1平面より外側に前記第1平面に接して設けられた第1媒質（屈折率 n_1 ）と、

前記第2平面と前記第3平面との間に、前記第2平面および前記第3平面に接して、前記第1平面に平行な所定方向に交互に設けられて回折格子を形成している第2媒質（屈折率 n_2 ）および第3媒質（屈折率 n_3 、ただし、 $n_3 < n_2$ ）と、

前記第4平面より外側に前記第4平面に接して設けられた第4媒質（屈折率 n_4 ）と、

前記第1平面と前記第2平面との間に、前記第1平面および前記第2平面に接して設けられた第5媒質（平均屈折率 n_5 ）と、

前記第3平面と前記第4平面との間に、前記第3平面および前記第4平面に接して設けられた第6媒質（平均屈折率 n_6 ）と、

を備え、

前記第2平面と前記第3平面との間における平均屈折率を n_{av} としたときに、前記第5媒質の平均屈折率 n_5 が「 $n_1 < n_5 < n_{av}$ 」または「 $n_{av} < n_5 < n_1$ 」なる関係式を満たし、前記第6媒質の平均屈折率 n_6 が「 $n_4 < n_6 < n_{av}$ 」または「 $n_{av} < n_6 < n_4$ 」なる関係式を満たす、

ことを特徴とする回折格子素子。

【請求項 8】 前記第 5 媒質の平均屈折率 n_5 が「 $(n_1 n_{av})^{1/2} - 0.2 < n_5 < (n_1 n_{av})^{1/2} + 0.2$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする請求項 7 記載の回折格子素子。

【請求項 9】 前記第 6 媒質の平均屈折率 n_6 が「 $(n_4 n_{av})^{1/2} - 0.2 < n_6 < (n_4 n_{av})^{1/2} + 0.2$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする請求項 8 記載の回折格子素子。

【請求項 10】 前記回折格子の周期を Λ とし、前記第 1 平面に垂直な方向についての前記第 5 媒質の厚みを h_5 とし、波長 λ の光が前記回折格子に入射するとしたときに、「 $\lambda \Lambda / 4 (4 n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2} < h_5 < 3 \lambda \Lambda / 4 (4 n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2}$ 」なる関係式を満たす光の波長 λ が波長帯域 $1.26 \mu m \sim 1.675 \mu m$ 内に存在する、ことを特徴とする請求項 7 記載の回折格子素子。

【請求項 11】 前記回折格子の周期を Λ とし、前記第 1 平面に垂直な方向についての前記第 6 媒質の厚みを h_6 とし、波長 λ の光が前記回折格子に入射するとしたときに、「 $\lambda \Lambda / 4 (4 n_6^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2} < h_6 < 3 \lambda \Lambda / 4 (4 n_6^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2}$ 」なる関係式を満たす光の波長 λ が波長帯域 $1.26 \mu m \sim 1.675 \mu m$ 内に存在する、ことを特徴とする請求項 10 記載の回折格子素子。

【請求項 12】 前記第 5 媒質が前記所定方向に交互に設けられた複数の媒質からなることを特徴とする請求項 7 記載の回折格子素子。

【請求項 13】 前記第 6 媒質が前記所定方向に交互に設けられた複数の媒質からなることを特徴とする請求項 12 記載の回折格子素子。

【請求項 14】 互いに平行に順に並んだ第 1 ～ 第 3 平面を仮想したときに、前記第 1 平面より外側に前記第 1 平面に接して設けられた第 1 媒質（屈折率 n_1 ）と、

前記第 2 平面と前記第 3 平面との間に、前記第 2 平面および前記第 3 平面に接して、前記第 1 平面に平行な所定方向に交互に設けられて回折格子を形成している第 2 媒質（屈折率 n_2 ）および第 3 媒質（屈折率 n_3 、ただし、 $n_3 < n_2$ ）と、

前記第 3 平面より外側に前記第 3 平面に接して設けられた第 4 媒質（屈折率 n_4 ）と、

前記第 1 平面と前記第 2 平面との間に、前記第 1 平面および前記第 2 平面に接して設けられた第 5 媒質（平均屈折率 n_5 ）と、

を備え、

前記第 1 平面と前記第 2 平面との間における平均屈折率を n_{av} としたときに、前記第 5 媒質の平均屈折率 n_5 が「 $n_1 < n_5 < n_{av}$ 」または「 $n_{av} < n_5 < n_1$ 」なる関係式を満たす、

ことを特徴とする回折格子素子。

【請求項 15】 前記第 5 媒質の平均屈折率 n_5 が「 $(n_1 n_{av})^{1/2} - 0.2 < n_5 < (n_1 n_{av})^{1/2} + 0.2$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする請求項 14 記載の回折格子素子。

【請求項 16】 前記回折格子の周期を Λ とし、前記第 1 平面に垂直な方向についての前記第 5 媒質の厚みを h_5 とし、波長 λ の光が前記回折格子に入射するとしたときに、「 $\lambda \Lambda / 4 (4 n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2} < h_5 < 3 \lambda \Lambda / 4 (4 n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2}$ 」なる関係式を満たす光の波長 λ が波長帯域 $1.26 \mu\text{m} \sim 1.675 \mu\text{m}$ 内に存在する、ことを特徴とする請求項 14 記載の回折格子素子。

【請求項 17】 前記第 5 媒質が前記所定方向に交互に設けられた複数の媒質からなることを特徴とする請求項 14 記載の回折格子素子。

【請求項 18】 前記第 2 媒質、前記第 3 媒質および前記第 4 媒質それぞれの屈折率 $n_2 \sim n_4$ が「 $n_3 < n_4 < n_2$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする請求項 14 記載の回折格子素子。

【請求項 19】 前記第 4 媒質の屈折率 n_4 が「 $n_{av} - 0.2 \leq n_4 \leq n_{av} + 0.2$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする請求項 18 記載の回折格子素子。

【請求項 20】 前記第 1 平面に垂直な方向についての前記第 4 媒質の厚みが $5 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項 18 記載の回折格子素子。

【請求項 21】 TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率が 90% 以上となる光の波長が存在することを特徴とする請求項 1, 2, 7 および 14 の何れか 1 項に記載の回折格子素子。

【請求項 22】 TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率の差が 5% 以下となる光の波長が存在することを特徴とする請求項 1, 2, 7 および 14

の何れか 1 項に記載の回折格子素子。

【請求項 23】 前記第 2 媒質の屈折率 n_2 と前記第 3 媒質の屈折率 n_3 との差が 0.7 以上であることを特徴とする請求項 1, 2, 7 および 14 の何れか 1 項に記載の回折格子素子。

【請求項 24】 前記第 2 媒質の屈折率 n_2 と前記第 3 媒質の屈折率 n_3 との差が 0.7 以上であることを特徴とする請求項 2, 7 および 14 の何れか 1 項に記載の回折格子素子。

【請求項 25】 前記第 2 媒質が TiO_2 , Ta_2O_5 および Nb_2O_5 の何れかであり、前記第 3 媒質が気体である、ことを特徴とする請求項 24 記載の回折格子素子。

【請求項 26】 前記第 2 媒質または前記第 3 媒質がエネルギー線照射により屈折率が変化し得る所定材料からなることを特徴とする請求項 1, 2, 7 および 14 の何れか 1 項に記載の回折格子素子。

【請求項 27】 前記所定材料がダイヤモンド様炭素であることを特徴とする請求項 26 記載の回折格子素子。

【請求項 28】 前記第 1 媒質または前記第 4 媒質が、前記第 2 媒質または前記第 3 媒質よりエッチングレートが遅い所定材料からなる、ことを特徴とする請求項 1, 2, 7 および 14 の何れか 1 項に記載の回折格子素子。

【請求項 29】 前記第 5 媒質または前記第 6 媒質が、前記第 2 媒質または前記第 3 媒質よりエッチングレートが遅い所定材料からなる、ことを特徴とする請求項 7 記載の回折格子素子。

【請求項 30】 前記第 5 媒質が、前記第 2 媒質または前記第 3 媒質よりエッチングレートが遅い所定材料からなる、ことを特徴とする請求項 14 記載の回折格子素子。

【請求項 31】 前記所定材料が Al_2O_3 , MgO , Nd_2O_3 およびフッ素系化合物の何れかであることを特徴とする請求項 28～30 の何れか 1 項に記載の回折格子素子。

【請求項 32】 前記第 2 媒質または前記第 3 媒質が TiO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , SiN , SiO_2 , SiO , ZrO_2 , Sb_2O_3 の何れかであることを

特徴とする請求項 28～30 の何れか 1 項に記載の回折格子素子。

【請求項 33】 請求項 1, 2, 7 および 14 の何れか 1 項に記載の回折格子素子を製造する方法であって、

エネルギー線照射により屈折率が変化し得る所定材料からなる層を形成し、その層に対してエネルギー線を所定の空間的強度変調パターンで照射して、その層において互いに屈折率が異なる前記第 2 媒質および前記第 3 媒質が交互に設けられた回折格子を形成する、ことを特徴とする回折格子素子製造方法。

【請求項 34】 請求項 1, 2, 7 および 14 の何れか 1 項に記載の回折格子素子を製造する方法であって、

所定材料からなる層を形成し、その層に対して所定の空間的パターンでエッチングして、その層において互いに屈折率が異なる前記第 2 媒質および前記第 3 媒質が交互に設けられた回折格子を形成する、ことを特徴とする回折格子素子製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、透過型の回折格子素子および回折格子素子製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

回折格子素子は、一般に、互いに平行な第 1 面および第 2 面を有する透明平板において第 1 面に回折格子が形成されたものである（例えば非特許文献 1 を参照）。この回折格子素子では、例えば、第 1 面に接する媒質から該第 1 面に光が一定入射角で入射すると、その光は、第 1 面に形成された回折格子により回折され、透明平板の内部を通過して、第 2 面に接する媒質へ出射される。透明平板の第 2 面から出射されるとき光の回折角は、波長によって異なる。

【0003】

このように、この回折格子素子は、入射した光を分波して出射する光分波器として用いられ得る。また、この回折格子素子は、上記の場合とは逆の方向に光を

導く場合には、入射した光を合波して出射する光合波器として用いられ得る。さらに、回折格子素子と他の光学素子とを組み合わせることで、例えば、波長に応じて光の群遅延時間を調整する分散調整器を構成することもできる。したがって、回折格子素子は、多波長の信号光を多重化して伝送する波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 光通信システムにおいて重要な光デバイスの 1 つとなっている。

【0004】

このような回折格子素子では回折効率が高いことが要求される。そして、回折効率向上の為の構造上の工夫が幾つか提案されており、95%程度の回折効率が報告されている (例えば特許文献 1 や非特許文献 2 を参照)。

【0005】

【特許文献 1】

米国特許出願公開第 2002/0135876 号明細書

【非特許文献 1】

小館香椎子、「回折光学の発展と新展開」、日本女子大学紀要、理学部、第 10 号、pp.7-24, (2002)

【非特許文献 2】

Hendrick J. Gerritsen, et al., "Rectangular surface-relief transmission gratings with a very large first-order diffraction efficiency (~95%) for unpolarized light", Applied Optics, Vol.37, No.25, pp.5823-5829 (1998)

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、回折格子素子に入射する入射光の入射角、または、回折格子素子により回折されて出射する回折光の回折角は、0 度 (回折格子が形成された透明平板の第 1 面または第 2 面に垂直) では無く、反射による偏波依存性が発生する。また、回折格子は、一方向のみに周期的に屈折率が変化するという構造であるから、特に格子周期が短い (例えば 2λ 以下) のときに、周期方向と偏波方向との角度とが変わると、回折効率に変化する。このように、一般に、回折格子素

子の回折効率は偏波依存性を有しており、TE偏波光およびTM偏波光それぞれの回折効率は互いに異なる。特に、回折角の角分散が大きい（合分波における波長分解能が高い）ときに、周期が短くなるから、偏波依存性は顕著になる。

【0007】

TE偏波光およびTM偏波光それぞれの回折効率の差を低減するには、反射による偏波依存性と構造による偏波依存性とをキャンセルするように、回折格子の断面形状（格子の高さや幅など）を適切に設計することにより可能である。しかし、そのように設計した場合であっても、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することはできない。

【0008】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、反射による偏波依存性と構造による偏波依存性とを個別にキャンセルすることで、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる回折格子素子を提供することを目的とする。また、このような回折格子素子を製造する方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

第1の発明に係る回折格子素子は、(1) 互いに平行な第1平面および第2平面を仮想したときに、第1平面より外側に第1平面に接して設けられた第1媒質（屈折率 n_1 ）と、(2) 第1平面と第2平面との間に、第1平面および第2平面に接して、第1平面に平行な所定方向に交互に設けられて回折格子を形成している第2媒質（屈折率 n_2 ）および第3媒質（屈折率 n_3 、ただし、 $n_3 < n_2$ ）と、(3) 第2平面より外側に第2平面に接して設けられた第4媒質（屈折率 n_4 ）と、を備える。そして、第1媒質、第2媒質、第3媒質および第4媒質それぞれの屈折率 $n_1 \sim n_4$ が「 $n_3 < n_1 < n_2$ 、 $n_3 \leq n_4 \leq n_2$ 」または「 $n_3 \leq n_1 \leq n_2$ 、 $n_3 < n_4 < n_2$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする。さらに、第2媒質および第3媒質の双方が固体であることを特徴とし、或いは、第1媒質または第4媒質が等方性材料からなることを特徴とする。

【0010】

この第1の発明に係る回折格子素子では、第1媒質と第4媒質との間において、第2媒質と第3媒質とが交互に設けられて回折格子が形成されている。第1媒質から回折格子へ入射した光は、回折格子部において回折され、第4媒質へ出射される。或いは、第4媒質から回折格子へ入射した光は、回折格子部において回折され、第1媒質へ出射される。この回折格子素子は、各媒質の屈折率が上記関係式を満たしていることから、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる。

【0011】

第1の発明に係る回折格子素子は、第1平面と第2平面との間における平均屈折率を n_{av} としたときに、第1媒質の屈折率 n_1 が「 $n_{av} - 0.2 \leq n_1 \leq n_{av} + 0.2$ 」なる関係式を満たすのが好適であり、さらに、第4媒質の屈折率 n_4 が「 $n_{av} - 0.2 \leq n_4 \leq n_{av} + 0.2$ 」なる関係式を満たすのが好適である。また、第1平面に垂直な方向についての第1媒質の厚みが $5 \mu m$ 以上であるのが好適であり、さらに、第1平面に垂直な方向についての第4媒質の厚みが $5 \mu m$ 以上であるのが好適である。これらの場合には、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現する上で更に好ましい。

【0012】

第2の発明に係る回折格子素子は、(1) 互いに平行に順に並んだ第1～第4平面を仮想したときに、第1平面より外側に第1平面に接して設けられた第1媒質（屈折率 n_1 ）と、(2) 第2平面と第3平面との間に、第2平面および第3平面に接して、第1平面に平行な所定方向に交互に設けられて回折格子を形成している第2媒質（屈折率 n_2 ）および第3媒質（屈折率 n_3 、ただし、 $n_3 < n_2$ ）と、(3) 第4平面より外側に第4平面に接して設けられた第4媒質（屈折率 n_4 ）と、(4) 第1平面と第2平面との間に、第1平面および第2平面に接して設けられた第5媒質（平均屈折率 n_5 ）と、(5) 第3平面と第4平面との間に、第3平面および第4平面に接して設けられた第6媒質（平均屈折率 n_6 ）と、を備える。そして、第2平面と第3平面との間における平均屈折率を n_{av} としたときに、第5媒質の平均屈折率 n_5 が「 $n_1 < n_5 < n_{av}$ 」または「 $n_{av} < n_5 < n_1$ 」なる関係式を満たし、第6媒質の平均屈折率 n_6 が「 $n_4 < n_6 < n_{av}$ 」または「 $n_{av} <$

$n_6 < n_4$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする。

【0013】

この第2の発明に係る回折格子素子では、第5媒質と第6媒質との間において、第2媒質と第3媒質とが交互に設けられて回折格子が形成されている。第1媒質から回折格子へ入射した光は、第5媒質を経て、回折格子部において回折され、第6媒質を経て、第4媒質へ出射される。或いは、第4媒質から回折格子へ入射した光は、第6媒質を経て、回折格子部において回折され、第5媒質を経て、第1媒質へ出射される。この回折格子素子は、各媒質の屈折率が上記関係式を満たしていることから、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる。

【0014】

第2の発明に係る回折格子素子は、第5媒質の平均屈折率 n_5 が「 $(n_1 n_{av})^{1/2} - 0.2 < n_5 < (n_1 n_{av})^{1/2} + 0.2$ 」なる関係式を満たすのが好適であり、さらに、第6媒質の平均屈折率 n_6 が「 $(n_4 n_{av})^{1/2} - 0.2 < n_6 < (n_4 n_{av})^{1/2} + 0.2$ 」なる関係式を満たすのが好適である。また、回折格子の周期を Λ とし、第1平面に垂直な方向についての第5媒質の厚みを h_5 とし、波長 λ の光が回折格子に入射するとしたときに、「 $\lambda \Lambda / 4 (4 n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2} < h_5 < 3 \lambda \Lambda / 4 (4 n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2}$ 」なる関係式を満たす光の波長 λ が波長帯域 $1.26 \mu\text{m} \sim 1.675 \mu\text{m}$ 内に存在するのが好適であり、さらに、回折格子の周期を Λ とし、第1平面に垂直な方向についての第6媒質の厚みを h_6 とし、波長 λ の光が回折格子に入射するとしたときに、「 $\lambda \Lambda / 4 (4 n_6^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2} < h_6 < 3 \lambda \Lambda / 4 (4 n_6^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2}$ 」なる関係式を満たす光の波長 λ が波長帯域 $1.26 \mu\text{m} \sim 1.675 \mu\text{m}$ 内に存在するのが好適である。これらの場合には、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い信号光波長域で実現する上で更に好ましい。

【0015】

また、第5媒質が所定方向に交互に設けられた複数の媒質からなるのが好適であり、さらに、第6媒質が所定方向に交互に設けられた複数の媒質からなるのが好適である。この場合には、回折特性の向上を図ることができるとともに、回折

格子素子を製造する上で好都合である。

【0016】

第3の発明に係る回折格子素子は、(1) 互いに平行に順に並んだ第1～第3平面を仮想したときに、第1平面より外側に第1平面に接して設けられた第1媒質（屈折率 n_1 ）と、(2) 第2平面と第3平面との間に、第2平面および第3平面に接して、第1平面に平行な所定方向に交互に設けられて回折格子を形成している第2媒質（屈折率 n_2 ）および第3媒質（屈折率 n_3 、ただし、 $n_3 < n_2$ ）と、(3) 第3平面より外側に第3平面に接して設けられた第4媒質（屈折率 n_4 ）と、(5) 第1平面と第2平面との間に、第1平面および第2平面に接して設けられた第5媒質（平均屈折率 n_{av} ）と、を備える。そして、第1平面と第2平面との間における平均屈折率を n_{av} としたときに、第5媒質の平均屈折率 n_5 が「 $n_1 < n_5 < n_{av}$ 」または「 $n_{av} < n_5 < n_1$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする。

【0017】

この第3の発明に係る回折格子素子では、第4媒質と第5媒質との間において、第2媒質と第3媒質とが交互に設けられて回折格子が形成されている。第1媒質から回折格子へ入射した光は、第5媒質を経て、回折格子部において回折され、第4媒質へ出射される。或いは、第4媒質から回折格子へ入射した光は、回折格子部において回折され、第5媒質を経て、第1媒質へ出射される。この回折格子素子は、各媒質の屈折率が上記関係式を満たしていることから、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる。

【0018】

第3の発明に係る回折格子素子は、第5媒質の平均屈折率 n_5 が「 $(n_1 n_{av})^{1/2} - 0.2 < n_5 < (n_1 n_{av})^{1/2} + 0.2$ 」なる関係式を満たすのが好適である。回折格子の周期を Λ とし、第1平面に垂直な方向についての第5媒質の厚みを h_5 とし、波長 λ の光が回折格子に入射するとしたときに、「 $\lambda \Lambda / 4 (4 n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2} < h_5 < 3 \lambda \Lambda / 4 (4 n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2)^{1/2}$ 」なる関係式を満たす光の波長 λ が波長帯域 $1.26 \mu\text{m} \sim 1.675 \mu\text{m}$ 内に存在するのが好適である。第2媒質、第3媒質および第4媒質それぞれの屈折率 $n_2 \sim n_4$ が「 $n_3 < n_4 < n_2$ 」なる関係式を満たすのが好適である。第4媒質の屈折率 n_4 が「 $n_{av} - 0.2 \leq n_4$

$\leq n_{av} + 0.2$ 」なる関係式を満たすのが好適である。また、第1平面に垂直な方向についての第4媒質の厚みが $5\mu\text{m}$ 以上であるのが好適である。これらの場合には、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現する上で更に好ましい。

【0019】

第5媒質が所定方向に交互に設けられた複数の媒質からなるのが好適である。この場合には、回折特性の向上を図ることができるとともに、回折格子素子を製造する上で好都合である。

【0020】

第1～第3の発明に係る回折格子素子は、TE偏波光およびTM偏波光それぞれの回折効率が90%以上となる光の波長が存在するのが好適であり、また、TE偏波光およびTM偏波光それぞれの回折効率の差が5%以下となる光の波長が存在するのが好適である。これらの場合には、多波長の信号光を多重化して伝送する光通信システムにおいて、この回折格子素子が好適に用いられ得る。

【0021】

第1～第3の発明に係る回折格子素子は、第2媒質の屈折率 n_2 と第3媒質の屈折率 n_3 との差が0.7以上であるのが好適であり。第2媒質が TiO_2 、 Ta_2O_5 および Nb_2O_5 の何れかであるのが好適であり、第3媒質が気体であるのが好適である。これらの場合には、回折格子部の高さを低くすることができることから、回折格子素子の製造が容易である。

【0022】

第1～第3の発明に係る回折格子素子は、第2媒質または第3媒質がエネルギー線照射により屈折率が変化し得る所定材料からなるのが好適であり、所定材料がダイヤモンド様炭素であるのが好適である。これらの場合には、所望の特性を有する回折格子素子を容易に製造することができる。

【0023】

第1の発明に係る回折格子素子は、第1媒質または第4媒質が、第2媒質または第3媒質よりエッチングレートが遅い所定材料からなるのが好適である。第2の発明に係る回折格子素子は、第5媒質または第6媒質が、第2媒質または第3

媒質よりエッチングレートが遅い所定材料からなるのが好適である。第2の発明で、第5媒質または第6媒質をエッチングする場合、第1媒質または第4媒質のエッチングレートが遅い所定材料からなるのが好適である。また、第3の発明に係る回折格子素子は、第4媒質または第5媒質が、第2媒質または第3媒質よりエッチングレートが遅い所定材料からなるのが好適である。第3の発明で、第5媒質をエッチングする場合、第1媒質のエッチングレートが遅い所定材料からなるのが好適である。このように、エッチング層に接する非エッチング層のエッチングレートが遅い材料を用いるのが好ましく、例えば、エッチングレート比が2倍以上であるのが好適である。ここで、上記所定材料が Al_2O_3 , MgO , Nd_2O_3 およびフッ素系化合物の何れかであるのが好適であり、また、第2媒質または第3媒質が TiO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , SiN , SiO_2 , SiO , ZrO_2 , Sb_2O_3 の何れかであるのが好適である。これらの場合には、回折格子素子をエッチング法により製造する上で好ましい。

【0024】

本発明に係る回折格子素子製造方法は、上記の第1～第3の発明に係る回折格子素子を製造する方法であって、エネルギー線照射により屈折率が変化し得る所定材料からなる層を形成し、その層に対してエネルギー線を所定の空間的強度変調パターンで照射して、その層において互いに屈折率が異なる第2媒質および第3媒質が交互に設けられた回折格子を形成することを特徴とする。或いは、所定材料からなる層を形成し、その層に対して所定の空間的パターンでエッチングして、その層において互いに屈折率が異なる第2媒質および第3媒質が交互に設けられた回折格子を形成することを特徴とする。

【0025】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0026】

(第1実施形態)

先ず、本発明に係る回折格子素子の第1実施形態について説明する。図1は、

第1実施形態に係る回折格子素子10の説明図である。この図は、格子に垂直な面で切断したときの回折格子素子10の断面を示している。この図に示される回折格子素子10は、第1媒質11、第2媒質12、第3媒質13および第4媒質14を備えて構成されている。

【0027】

この回折格子素子10において、互いに平行な第1平面 P_1 および第2平面 P_2 を仮想する。このとき、第1媒質11は、第1平面 P_1 より外側（図では上側）に第1平面 P_1 に接して設けられている。第2媒質12および第3媒質13は、第1平面 P_1 と第2平面 P_2 との間に、第1平面 P_1 および第2平面 P_2 に接して、第1平面 P_1 に平行な所定方向に交互に設けられていて、回折格子を形成している。また、第4媒質14は、第2平面 P_2 より外側（図では下側）に第2平面 P_2 に接して設けられている。第2媒質12および第3媒質13の双方が固体であり、或いは、第1媒質11または第4媒質14が等方性材料からなる。

【0028】

この回折格子素子10では、第1媒質11と第4媒質14との間において、第2媒質12と第3媒質13とが交互に設けられて回折格子が形成されている。第1媒質11から回折格子へ入射した光は、回折格子部において回折され、第4媒質14へ出射される。或いは、第4媒質14から回折格子へ入射した光は、回折格子部において回折され、第1媒質11へ出射される。

【0029】

第2媒質12の各領域および第3媒質13の各領域は、何れも断面が長方形である。第2媒質12および第3媒質13が所定方向に交互に設けられることによって回折格子が形成された回折格子部において、その回折格子の周期を Λ とし、その周期 Λ における第2媒質12が占める割合（デューティ比）を f とする。第1平面 P_1 と第2平面 P_2 との間の距離（すなわち、格子の高さ）を H とする。第1媒質11の屈折率を n_1 とし、第2媒質12の屈折率を n_2 とし、第3媒質13の屈折率を n_3 （ただし、 $n_3 < n_2$ ）とし、第4媒質14の屈折率を n_4 とする。

【0030】

このとき、第1平面 P_1 と第2平面 P_2 との間の回折格子部の平均屈折率 n_{av} は

【数 1】

$$n_{av} = \sqrt{fn_2^2 + (1-f)n_3^2} \quad \cdots (1)$$

なる式で表される。また、この平均屈折率 n_{av} は、第 2 媒質 12 の屈折率 n_2 および第 3 媒質 13 の屈折率 n_3 との間で、

【数 2】

$$n_3 < n_{av} < n_2 \quad \cdots (2)$$

なる関係式を満たす。

【0031】

そして、回折格子の周期 Λ が入射光の波長 λ のオーダー以下（例えば 2λ 以下）であれば、第 1 平面 P_1 および第 2 平面 P_2 それぞれでの光の反射を考える際に、第 1 平面 P_1 と第 2 平面 P_2 との間を屈折率 n_{av} の均質な媒質で置き換えことができる。このとき、第 1 媒質 11 の屈折率 n_1 または第 4 媒質 14 の屈折率 n_4 が回折格子部の平均屈折率 n_{av} に近いほど、第 1 平面 P_1 または第 2 平面 P_2 における反射が低減され、回折特性が向上する。

【0032】

そこで、本実施形態では、各媒質の屈折率 $n_1 \sim n_4$ は、

【数 3】

$$n_3 < n_1 < n_2, \quad n_3 \leq n_4 \leq n_2 \quad \cdots (3a)$$

または

$$n_3 \leq n_1 \leq n_2, \quad n_3 < n_4 < n_2 \quad \cdots (3b)$$

なる関係式を満たすものとされている。さらに、各媒質の屈折率 $n_1 \sim n_4$ は、

【数 4】

$$n_{av} - 0.2 \leq n_1 \leq n_{av} + 0.2 \quad \dots (4a)$$

または

$$n_{av} - 0.2 \leq n_4 \leq n_{av} + 0.2 \quad \dots (4b)$$

なる関係式を満たすのが好適である。

【0033】

上記(3)式または(4)式に従って各媒質の屈折率 $n_1 \sim n_4$ が決定され、その後、厳密結合波解析法 (RCWA: Rigorous Coupled-Wave Analysis) により回折格子素子 10 の回折特性の解析が行なわれる。そして、最適化手法 (例えば、非線形計画法、シミュレーテッドアニーリング法、遺伝アルゴリズムなど) により、デューティ比 f 、格子周期 Λ および格子高さ H が最適化されることで、回折特性が優れた回折格子素子 10 が設計される。

【0034】

次に、第 1 実施形態に係る回折格子素子 10 の実施例について、比較例とともに説明する。実施例 1 の回折格子素子 10 は、第 1 媒質 11 および第 4 媒質 14 それぞれが石英ガラス ($n_1 = n_4 = 1.45$) であり、第 2 媒質 12 の屈折率 n_2 が 1.75 であり、第 3 媒質 13 が空気 ($n_3 = 1$) であり、デューティ比 f が 0.70 であり、格子周期 Λ が $1.01 \mu\text{m}$ であり、格子高さ H が $2.26 \mu\text{m}$ である。比較例 1 の回折格子素子は、第 1 媒質および第 3 媒質それぞれが空気 ($n_1 = n_3 = 1$) であり、第 2 媒質および第 4 媒質それぞれが石英ガラス ($n_2 = n_4 = 1.45$) であり、デューティ比 f が 0.84 であり、格子周期 Λ が $1.01 \mu\text{m}$ であり、格子高さ H が $6.02 \mu\text{m}$ である。

【0035】

図 2 は、実施例 1 の回折格子素子 10 の回折特性を示すグラフである。図 3 は、比較例 1 の回折格子素子の回折特性を示すグラフである。これらの図には、光の入射角 θ が波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるブラッグ入射角であるときの回折効率の波長依存性が TE 偏波光および TM 偏波光それぞれについて示されている。なお、ブラッグ入射角は、0 次光および 1 次光それぞれの角度が等しくなる入射角を

いう。また、これら実施例 1 および比較例 1 それぞれにおいては、波長帯域 $1.52\mu\text{m} \sim 1.57\mu\text{m}$ において、回折効率の偏波依存性および波長依存性ができる限り小さく、回折効率ができる限り大きくなるように、各パラメータが設計された。

【0036】

これらの図を対比して判るように、比較例 1 の場合（図 3）と比較して、実施例 1 の場合（図 2）には、広い波長域で、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率が高く 95% 以上であり、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率の差が 2% 以下であった。このように、本実施形態に係る回折格子素子 10 は、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる。

【0037】

図 4 は、実施例 1 の回折格子素子 10 の回折効率と第 4 媒質 14 の屈折率 n_4 との関係を示すグラフである。ここでは、波長 λ は $1.55\mu\text{m}$ に固定された。この図から判るように、第 4 媒質 14 の屈折率 n_4 が上記 (4b) 式の関係式を満たす場合には、回折効率が大きく、偏波依存性が小さい。

【0038】

次に、第 1 実施形態に係る回折格子素子 10 を製造する方法について幾つか説明する。

【0039】

第 1 の製造方法では、第 4 媒質 14 の面上に第 2 媒質 12 からなる層を形成し、その層に対して所定の空間的パターンでエッチングにより溝を形成し、その上に第 1 媒質 11 を貼り合わせる。この場合、エッチングにより形成された溝の領域が、空気からなる第 3 媒質 13 となる。或いは、エッチングにより形成された溝の領域に CVD (Chemical Vapor Deposition) 法等により第 3 領域 13 となるべき他の材料を埋め込み、研磨等により第 2 領域 12 および第 3 領域 13 それぞれの高さを揃えて、その上に第 1 媒質 11 を設けてもよい。ここで、第 2 領域 12 および第 3 領域 13 の双方が固体であれば、第 1 媒質 11 に貼り合わせる際の圧力による溝形状の変形を抑制することができ、また、CVD 法等で第 1 媒質

11を設ける際にも溝への第1媒質11の入り込みを抑制することができて、好適である。なお、第4媒質14の面上に第2媒質12からなる層を形成するのではなく、第3媒質13からなる層を形成してもよい。

【0040】

第2媒質12または第3媒質13からなる層がエッチングされる際に、第4媒質14が、第2媒質12または第3媒質13よりエッチングレートが遅い所定材料からなるのが好ましく、この場合には、第4媒質14の上面（第2平面P₂）でエッチングを終了させることができる。このような観点から、例えば、第4媒質14は、Al₂O₃、MgO、Nd₂O₃およびフッ素系化合物（AlF₃、MgF₂、CaF₂、NdF₃など）の何れかであるのが好ましい。また、第2媒質12または第3媒質13は、Ti₂、Nb₂O₅、Ta₂O₅、SiN、SiO₂、SiO、ZrO₂、Sb₂O₃の何れかであるのが好ましい。

【0041】

なお、上記のエッチングに替えてリフトオフ等により第2媒質12および第3媒質13が交互に形成されてもよい。

【0042】

エッチングおよびリフトオフの何れの場合にも、格子高さHが低いほど溝形成が容易である。第1実施形態では、各媒質の屈折率 $n_1 \sim n_4$ それぞれを独立に設定することができるから、第2媒質12の屈折率 n_2 と第3媒質13の屈折率 n_3 との差（ $n_2 - n_3$ ）を大きくすることができ、したがって、格子高さHを低くすることができる。このような観点から、第2媒質12の屈折率 n_2 と第3媒質13の屈折率 n_3 との差（ $n_2 - n_3$ ）が0.7以上であれば、格子高さHを3 μ m以下とすることができ製造が容易となるので好適である。また、その為には、第2媒質12がTiO₂、Ta₂O₅およびNb₂O₅の何れかであるのが好適であり、第3媒質13が気体であるのが好適である。

【0043】

第2の製造方法では、第4媒質14の面上に、エネルギー線（例えばX線や粒子線など）の照射により屈折率が変化し得る所定材料からなる層を形成し、その層に対してエネルギー線を所定の空間的強度変調パターンで照射して、その層におい

て互いに屈折率が異なる第2媒質12および第3媒質13が交互に設けられた回折格子を形成し、その上に第1媒質11を設ける。或いは、所定材料からなる層の上に第1媒質11を設け、その後、その層に対してエネルギー線を所定の空間的強度変調パターンで照射して、その層において互いに屈折率が異なる第2媒質12および第3媒質13が交互に設けられた回折格子を形成するのも好適である。

【0044】

エネルギー線照射により屈折率が変化し得る所定材料としてダイヤモンド様炭素(DLC: Diamond-Like Carbon)が好適に用いられる。この場合、このダイヤモンド様炭素の屈折率を変化させる為に照射されるエネルギー線として、シンクロトロン放射光(SR光: Synchrotron Radiation)や水素イオンビームが用いられ、エネルギー線が照射されたダイヤモンド様炭素の領域の屈折率が大きくなる。すなわち、エネルギー線が照射されていない領域が第3媒質13(屈折率 n_3)となり、エネルギー線が照射された領域が第2媒質12(屈折率 n_2)となる。

【0045】

この第2の製造方法は、第1の製造方法と比較して、回折格子素子10の製造が簡略である点で好適である。また、第1の製造方法では、エッチングにより形成される溝の断面形状を完全な長方形とするのは困難であるが、これに対して、第2の製造方法では、第2媒質12および第3媒質13それぞれの各領域の断面形状がより完全な長方形となり得る点でも好適である。

【0046】

次に、第1実施形態に係る回折格子素子10の変形例について説明する。図5は、変形例1の回折格子素子10Aの説明図である。この図に示される変形例1の回折格子素子10Aは、上述した回折格子素子10の構成に対して、第1媒質11の外側(図では上側)に反射低減膜11aが形成され、更に反射低減膜11aの外側に媒質11bが存在し、また、第4媒質14の外側(図では下側)に反射低減膜14aが形成され、更に反射低減膜14aの外側に媒質14bが存在するものである。例えば、外側の媒質11bおよび媒質14bは、空気であり、或いは、回折格子素子10A全体の線膨張係数を調整して光学特性の温度依存性を

低減する為の光学ガラスである。

【0047】

この変形例1の回折格子素子10Aでは、回折格子において発生するエバネセント波が十分に減衰するように、第1媒質11および第4媒質14それぞれの厚み（第1平面P₁に垂直な方向についての厚み）は、波長 λ より十分に厚いのが好ましい。例えば、波長 λ が $1.55\mu\text{m}$ であれば、第1媒質11および第4媒質14それぞれの厚みは $5\mu\text{m}$ 以上であるのが好適である。また、第1媒質11と外側の媒質11bとの間に反射低減膜11aが設けられ、また、第4媒質14と外側の媒質14bとの間に反射低減膜14aが設けられていることにより、これらの界面での反射が低減されて、回折特性の低下が抑制される。

【0048】

ここで、第1媒質11または第4媒質14が異方性材料からなる場合、偏波モード分散が発生し又は偏波状態が変化するので、光通信に影響を及ぼす。しかし、第1媒質11および第4媒質14を等方性材料のものとすることで、これらの影響を抑制することができ、また、反射低減膜11aや反射低減膜14aにおける反射低減の為の設計も容易になる。

【0049】

図6は、変形例2の回折格子素子10Bの説明図である。この図に示される変形例2の回折格子素子10Bは、上述した回折格子素子10の構成に対して、第1媒質11の外側（図では上側）に媒質11bが存在し、また、第4媒質14の外側（図では下側）に媒質14bが存在するものである。例えば、外側の媒質11bおよび媒質14bは、空気であり、或いは、回折格子素子10A全体の線膨張係数を調整して光学特性の温度依存性を低減する為の光学ガラスである。特に、この変形例2の回折格子素子10Bでは、回折格子部での反射光・透過光・回折光が再び回折格子部に入射しないように、第1媒質11および第4媒質14それぞれは十分な厚みを有している。このことにより、回折特性の低下が抑制される。

【0050】

（第2実施形態）

次に、本発明に係る回折格子素子の第2実施形態について説明する。図7は、第2実施形態に係る回折格子素子20の説明図である。この図は、格子に垂直な面で切断したときの回折格子素子20の断面を示している。この図に示される回折格子素子20は、第1媒質21、第2媒質22、第3媒質23、第4媒質24、第5媒質25および第6媒質26を備えて構成されている。

【0051】

この回折格子素子20において、互いに平行で順に並んだ第1平面 P_1 、第2平面 P_2 、第3平面 P_3 および第4平面 P_4 を仮想する。このとき、第1媒質21は、第1平面 P_1 より外側（図では上側）に第1平面 P_1 に接して設けられている。第2媒質22および第3媒質23は、第2平面 P_2 と第3平面 P_3 との間に、第2平面 P_2 および第3平面 P_3 に接して、第1平面 P_1 に平行な所定方向に交互に設けられて、回折格子を形成している。第4媒質24は、第4平面 P_4 より外側（図では下側）に第4平面 P_4 に接して設けられている。第5媒質25は、第1平面 P_1 と第2平面 P_2 との間に、第1平面 P_1 および第2平面 P_2 に接して設けられている。第6媒質26は、第3平面 P_3 と第4平面 P_4 との間に、第3平面 P_3 および第4平面 P_4 に接して設けられている。

【0052】

この回折格子素子20では、第5媒質25と第6媒質26との間において、第2媒質22と第3媒質23とが交互に設けられて回折格子が形成されている。第1媒質21から回折格子へ入射した光は、第5媒質25を経て、回折格子部において回折され、第6媒質26を経て、第4媒質24へ出射される。或いは、第4媒質24から回折格子へ入射した光は、第6媒質26を経て、回折格子部において回折され、第5媒質25を経て、第1媒質21へ出射される。

【0053】

第2媒質22の各領域および第3媒質23の各領域は、何れも断面が長方形である。第2媒質22および第3媒質23が所定方向に交互に設けられることによって回折格子が形成された回折格子部において、その回折格子の周期を Λ とし、その周期 Λ における第2媒質22が占める割合（デューティ比）を f とする。第1平面 P_1 と第2平面 P_2 との間の距離（すなわち、第5媒質25の厚み）を h_5

とする。第2平面 P_2 と第3平面 P_3 との間の距離（すなわち、格子の高さ）を H とする。第3平面 P_3 と第4平面 P_4 との間の距離（すなわち、第6媒質26の厚み）を h_6 とする。第1媒質21の屈折率を n_1 とし、第2媒質22の屈折率を n_2 とし、第3媒質23の屈折率を n_3 （ただし、 $n_3 < n_2$ ）とし、第4媒質24の屈折率を n_4 とし、第5媒質25の屈折率を n_5 とし、第6媒質26の屈折率を n_6 とする。

【0054】

このとき、第2平面 P_2 と第3平面 P_3 との間の回折格子部の平均屈折率 n_{av} は上記(1)式で表される。また、この平均屈折率 n_{av} は、第2媒質22の屈折率 n_2 および第3媒質23の屈折率 n_3 との間で、上記(2)式の関係式を満たす。

【0055】

第5媒質25および第6媒質26それぞれは、反射低減の為の多層膜であってもよいし、単層の膜であってもよい。単層膜であるとき、第5媒質25の屈折率 n_5 は、

【数5】

$$n_1 < n_5 < n_{av} \quad \text{または} \quad n_{av} < n_5 < n_1 \quad \cdots (5)$$

なる関係式を満たし、第6媒質26の屈折率 n_6 は、

【数6】

$$n_4 < n_6 < n_{av} \quad \text{または} \quad n_{av} < n_6 < n_4 \quad \cdots (6)$$

なる関係式を満たす。本実施形態に係る回折格子素子20は、このように設定されていることにより、各界面での反射が低減されて、回折特性の低下が抑制される。

【0056】

さらに、第5媒質25の屈折率 n_5 は、

【数7】

$$\sqrt{n_1 n_{av}} - 0.2 < n_5 < \sqrt{n_1 n_{av}} + 0.2 \quad \cdots (7)$$

なる関係式を満たすのが好適である。また、第 6 媒質 2 6 の屈折率 n_6 は、

【数 8】

$$\sqrt{n_4 n_{av}} - 0.2 < n_6 < \sqrt{n_4 n_{av}} + 0.2 \quad \dots (8)$$

なる関係式を満たすのが好適である。

【0 0 5 7】

また、界面での反射を広い波長帯域で低減する為には、第 5 媒質 2 5 の高さ h_5 および第 6 媒質 2 6 の高さ h_6 それぞれは、波長オーダー以下であることが好ましく、例えば $5 \mu m$ 以下であるのが好適である。

【0 0 5 8】

特に、第 5 媒質 2 5 中における波長 λ の光の角度を θ_5 とすると、第 5 媒質 2 5 の厚み h_5 は、

【数 9】

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{4n_5 \cos \theta_5} < h_5 < \frac{3}{2} \cdot \frac{\lambda}{4n_5 \cos \theta_5} \quad \dots (9)$$

なる関係式を満たすのが好適である。また、第 6 媒質 2 6 中における波長 λ の光の角度を θ_6 とすると、第 6 媒質 2 6 の厚み h_6 は、

【数 1 0】

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{4n_6 \cos \theta_6} < h_6 < \frac{3}{2} \cdot \frac{\lambda}{4n_6 \cos \theta_6} \quad \dots (10)$$

なる関係式を満たすのが好適である。

【0 0 5 9】

また、光がブラッグ角で入射するとすれば、上記(9)式は、

【数 1 1】

$$\frac{\lambda \Lambda}{4\sqrt{4n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2}} < h_5 < \frac{3\lambda \Lambda}{4\sqrt{4n_5^2 \Lambda^2 - \lambda^2}} \quad \dots (11)$$

なる式で表され、上記(10)式は、

【数 12】

$$\frac{\lambda\Lambda}{4\sqrt{4n_6^2\Lambda^2 - \lambda^2}} < h_6 < \frac{3\lambda\Lambda}{4\sqrt{4n_6^2\Lambda^2 - \lambda^2}} \quad \dots (12)$$

なる式で表される。なお、上記(11)式および(12)式それぞれは、ブラッグ入射角を仮定した場合に導出されるものであるが、ブラッグ入射角で無い場合にも近似的に当てはまる。

【0060】

上記(5)式～(12)式の何れかに従って各媒質の屈折率 $n_1 \sim n_6$ および厚み h_5 , h_6 が決定され、その後、RCWA法により回折格子素子 20 の回折特性の解析が行なわれる。そして、最適化手法により、デューティ比 f 、格子周期 Λ および格子高さ H が最適化されることで、回折特性が優れた回折格子素子 20 が設計される。

【0061】

なお、以上では第 5 媒質 25 および第 6 媒質 26 それぞれが均一な単層膜であるとして説明してきたが、第 5 媒質 25 または第 6 媒質 26 が反射低減の為の多層膜であってもよい。後者の場合、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの反射が抑制されて回折効率が向上し、多層膜の偏波依存性を利用することにより回折効率の偏波依存性を低減することができ、また、高次回折光やエバネセント波に対しても反射低減効果を期待することができる。

【0062】

次に、第 2 実施形態に係る回折格子素子 20 の実施例について説明する。実施例 2 の回折格子素子 20 は、第 1 媒質 21 が空気 ($n_1=1$) であり、第 2 媒質 22 が DLC の SR 光照射部 ($n_2=2.15$) であり、第 3 媒質 23 が DLC の SR 光非照射部 ($n_3=1.55$) であり、第 4 媒質 24 が石英ガラス ($n_4=1.45$) であり、第 5 媒質 25 が石英ガラス ($n_5=1.45$) であり、第 6 媒質 26 が MgO ($n_6=1.70$) であった。デューティ比 f が 0.74 であり、格子周期 Λ が $1.01 \mu\text{m}$ であり、格子高さ H が $3.35 \mu\text{m}$ であり、第 5 媒質 25 の

厚み h_5 が $0.30\ \mu\text{m}$ であり、第 6 媒質 26 の厚み h_6 が $0.23\ \mu\text{m}$ であった。

【0063】

図 8 は、実施例 2 の回折格子素子 20 の回折特性を示すグラフである。この図には、光の入射角 θ が波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるブラッグ入射角であるときの回折効率の波長依存性が TE 偏波光および TM 偏波光それぞれについて示されている。波長帯域 $1.52\ \mu\text{m} \sim 1.57\ \mu\text{m}$ において、回折効率の偏波依存性および波長依存性ができる限り小さく、回折効率ができる限り大きくなるように、各パラメータが設計された。この図から判るように、実施例 2 の場合にも、広い波長域で、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率が高く 95% 以上であり、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率の差が 2% 以下であった。このように、本実施形態に係る回折格子素子 20 は、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる。

【0064】

次に、第 2 実施形態に係る回折格子素子 20 を製造する方法について説明する。第 1 実施形態の場合と略同様に、第 2 実施形態に係る回折格子素子 20 は、エッチング法やリフトオフ法を用いる第 1 の製造方法や、エネルギー線の照射により屈折率が変化し得る所定材料を用いる第 2 の製造方法により、製造することができる。ただし、第 2 実施形態では、第 6 媒質 26 は、第 2 媒質 22 または第 3 媒質 23 よりエッチングレートが遅い所定材料からなるのが好ましく、 Al_2O_3 、 MgO 、 Nd_2O_3 およびフッ素系化合物 (AlF_3 、 MgF_2 、 CaF_2 、 NdF_3 など) の何れかであるのが好ましい。

【0065】

次に、第 2 実施形態に係る回折格子素子 20 の変形例について説明する。回折格子素子 20 の変形例では、第 5 媒質 25 および第 6 媒質 26 の双方または何れか一方が所定方向に交互に設けられた複数の媒質からなる。

【0066】

図 9 は、変形例の回折格子素子 20A の説明図である。この図に示される変形例の回折格子素子 20A は、上述した回折格子素子 20 の構成に対して、第 5 媒質 25 および第 6 媒質 26 の双方が所定方向に交互に設けられた複数の媒質から

なるものである。ここで、所定方向は、第2媒質22および第3媒質23が交互に設けられている方向と同じである。

【0067】

第5媒質25は、媒質25a（屈折率 n_{5a} ）と媒質25b（屈折率 n_{5b} ）とが Λ_5 で交互に設けられている。第6媒質26は、媒質26a（屈折率 n_{6a} ）と媒質26b（屈折率 n_{6b} ）とが Λ_6 で交互に設けられている。第5媒質25の周期 Λ_5 における媒質25aが占める割合（デューティ比）を f_5 とし、第6媒質26の周期 Λ_6 における媒質26aが占める割合（デューティ比）を f_6 とする。なお、第5媒質25の周期 Λ_5 および第6媒質26の周期 Λ_6 それぞれは、第2媒質22および第3媒質23からなる回折格子部の周期 Λ と等しいのが好適であり、或いは、周期 Λ の整数分の1であるのが好適である。また、第5媒質25の周期 Λ_5 および第6媒質26の周期 Λ_6 それぞれは、入射光の波長 λ と比べて十分に小さいのが好適であり、例えば波長 λ の $1/5$ 以下であるのが好適である。

【0068】

このとき、第5媒質25の平均屈折率 n_5 は、

【数13】

$$n_5 = \sqrt{f_5 n_{5a}^2 + (1 - f_5) n_{5b}^2} \quad \cdots (13)$$

なる式で表され、第6媒質26の平均屈折率 n_6 は、

【数14】

$$n_6 = \sqrt{f_6 n_{6a}^2 + (1 - f_6) n_{6b}^2} \quad \cdots (14)$$

なる式で表される。上記(13)式、(14)式で表される平均屈折率 n_5 、 n_6 を用いることで、既述した回折格子素子20（図7）と同様の議論が可能となる。

【0069】

次に、この変形例の回折格子素子20の実施例について説明する。図10は、実施例3の回折格子素子20Bの説明図である。この実施例3の回折格子素子20Bでは、第5媒質25は所定方向に交互に設けられた2つの媒質25a、25bからなり、第6媒質26は均一である。実施例3の回折格子素子20Bは、第

1 媒質 21 が空気 ($n_1=1$) であり、第 2 媒質 22 が Ta_2O_5 ($n_2=2.0$) であり、第 3 媒質 23 が空気 ($n_3=1$) であり、第 4 媒質 24 が石英ガラス ($n_4=1.45$) であり、第 5 媒質 25 のうち媒質 25a が石英ガラス ($n_{5a}=1.45$) であって媒質 25b が空気 ($n_{5b}=1$) であり、第 6 媒質 26 が Al_2O_3 ($n_6=1.60$) であった。デューティ比 f および f_5 が 0.66 であり、格子周期 Λ が $1.01\ \mu\text{m}$ であり、格子高さ H が $1.49\ \mu\text{m}$ であり、第 5 媒質 25 の厚み h_5 が $0.36\ \mu\text{m}$ であり、第 6 媒質 26 の厚み h_6 が $0.34\ \mu\text{m}$ であった。

【0070】

図 11 は、実施例 3 の回折格子素子 20B の回折特性を示すグラフである。この図には、光の入射角 θ が波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるブラッグ入射角であるときの回折効率の波長依存性が TE 偏波光および TM 偏波光それぞれについて示されている。波長帯域 $1.52\ \mu\text{m} \sim 1.57\ \mu\text{m}$ において、回折効率の偏波依存性および波長依存性ができる限り小さく、回折効率ができる限り大きくなるように、各パラメータが設計された。この図から判るように、実施例 3 の場合にも、広い波長域で、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率が高く 95% 以上であり、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率の差が 2% 以下であった。このように、本実施形態に係る回折格子素子 20 は、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる。

【0071】

また、実施例 3 では、第 2 媒質 22 および第 5 媒質 25 を同時にエッチングすることができるので、製造が容易である。この際、第 6 媒質 26 として第 2 媒質 22 および第 5 媒質 25 よりエッチングレートが遅い所定材料を用いることで、製造する上で更に好都合である。また、第 2 媒質 22、第 5 媒質 25 および第 6 媒質 26 を同時にエッチングすることも可能であり、この場合には、第 4 媒質 24 のエッチングレートが遅いのが好適である。

【0072】

(第 3 実施形態)

次に、本発明に係る回折格子素子の第 3 実施形態について説明する。図 12 は、第 3 実施形態に係る回折格子素子 30 の説明図である。この図は、格子に垂直

な面で切断したときの回折格子素子 30 の断面を示している。この図に示される回折格子素子 30 は、第 1 媒質 31、第 2 媒質 32、第 3 媒質 33、第 4 媒質 34 および第 5 媒質 35 を備えて構成されている。

【0073】

この回折格子素子 30 において、互いに平行で順に並んだ第 1 平面 P_1 、第 2 平面 P_2 および第 3 平面 P_3 を仮想する。このとき、第 1 媒質 31 は、第 1 平面 P_1 より外側（図では上側）に第 1 平面 P_1 に接して設けられている。第 2 媒質 32 および第 3 媒質 33 は、第 2 平面 P_2 と第 3 平面 P_3 との間に、第 2 平面 P_2 および第 3 平面 P_3 に接して、第 1 平面 P_1 に平行な所定方向に交互に設けられて、回折格子を形成している。第 4 媒質 34 は、第 3 平面 P_3 より外側（図では下側）に第 3 平面 P_3 に接して設けられている。第 5 媒質 35 は、第 1 平面 P_1 と第 2 平面 P_2 との間に、第 1 平面 P_1 および第 2 平面 P_2 に接して設けられている。

【0074】

この回折格子素子 30 では、第 4 媒質 34 と第 5 媒質 35 との間において、第 2 媒質 32 と第 3 媒質 33 とが交互に設けられて回折格子が形成されている。第 1 媒質 31 から回折格子へ入射した光は、第 5 媒質 35 を経て、回折格子部において回折され、第 4 媒質 34 へ出射される。或いは、第 4 媒質 34 から回折格子へ入射した光は、回折格子部において回折され、第 5 媒質 35 を経て、第 1 媒質 31 へ出射される。

【0075】

第 2 媒質 32 の各領域および第 3 媒質 33 の各領域は、何れも断面が長方形である。第 2 媒質 32 および第 3 媒質 33 が所定方向に交互に設けられることによって回折格子が形成された回折格子部において、その回折格子の周期を Λ とし、その周期 Λ における第 2 媒質 32 が占める割合（デューティ比）を f とする。第 1 平面 P_1 と第 2 平面 P_2 との間の距離（すなわち、第 5 媒質 35 の厚み）を h_5 とする。第 2 平面 P_2 と第 3 平面 P_3 との間の距離（すなわち、格子の高さ）を H とする。第 1 媒質 31 の屈折率を n_1 とし、第 2 媒質 32 の屈折率を n_2 とし、第 3 媒質 33 の屈折率を n_3 （ただし、 $n_3 < n_2$ ）とし、第 4 媒質 34 の屈折率を n_4 とし、第 5 媒質 35 の屈折率を n_5 とする。

【0076】

このとき、第2平面 P_2 と第3平面 P_3 との間の回折格子部の平均屈折率 n_{av} は上記(1)式で表される。また、この平均屈折率 n_{av} は、第2媒質32の屈折率 n_2 および第3媒質33の屈折率 n_3 との間で、上記(2)式の関係式を満たす。

【0077】

第5媒質35は、第2実施形態の場合と同様に、反射低減の為の多層膜であってもよいし、単層の膜であってもよい。単層膜であるとき、第5媒質35の屈折率 n_5 は上記(5)式の関係式を満たす。本実施形態に係る回折格子素子30は、このように設定されていることにより、この界面での反射が低減されて、回折特性の低下が抑制される。さらに、第5媒質35の屈折率 n_5 は上記(7)式の関係式を満たすのが好適である。

【0078】

また、界面での反射を広い波長帯域で低減する為には、第5媒質35の高さ h_5 は、波長オーダー以下であることが好ましく、例えば $5\mu m$ 以下であるのが好適である。特に、第5媒質35中における波長 λ の光の角度を θ_5 とすると、第5媒質35の厚み h_5 は上記(9)式の関係式を満たすのが好適である。また、光がブラッグ角で入射するとすれば、上記(9)式は上記(11)式で表される。なお、上記(11)式は、ブラッグ入射角を仮定した場合に導出されるものであるが、ブラッグ入射角で無い場合にも近似的に当てはまる。

【0079】

一方、第4媒質34の屈折率 n_4 については、第1実施形態の場合と同様に、上記(3)式または(4)式を満たすのが好適である。本実施形態に係る回折格子素子30は、このように設定されていることにより、この界面での反射が低減されて、回折特性の低下が抑制される。

【0080】

上記の各式に従って各媒質の屈折率 $n_1 \sim n_3$ および厚み h_5 が決定され、その後、RCWA法により回折格子素子30の回折特性の解析が行なわれる。そして、最適化手法により、デューティ比 f 、格子周期 Λ および格子高さ H が最適化されることで、回折特性が優れた回折格子素子30が設計される。

【0081】

なお、以上では第5媒質35が均一な単層膜であるとして説明してきたが、第5媒質35が反射低減の為の多層膜であってもよい。後者の場合、TE偏波光およびTM偏波光それぞれの反射が抑制されて回折効率が向上し、多層膜の偏波依存性を利用することにより回折効率の偏波依存性を低減することができ、また、高次回折光やエバネセント波に対しても反射低減効果を期待することができる。

【0082】

また、第2実施形態の変形例と同様に、本実施形態でも、第5媒質35は所定方向に交互に設けられた複数の媒質からなるものであってもよい。このとき、第5媒質35の平均屈折率 n_5 は上記(13)式で表される。上記(13)式で表される平均屈折率 n_5 を用いることで、既述した回折格子素子30と同様の議論が可能となる。

【0083】

次に、第3実施形態に係る回折格子素子30を製造する方法について説明する。第1実施形態の場合と同様に、第3実施形態に係る回折格子素子30は、エッチング法やリフトオフ法を用いる第1の製造方法や、エネルギー線の照射により屈折率が変化し得る所定材料を用いる第2の製造方法により、製造することができる。第4媒質34は、第2媒質32または第3媒質33よりエッチングレートが遅い所定材料からなるのが好ましく、 Al_2O_3 、 MgO 、 Nd_2O_3 およびフッ素系化合物(AlF_3 、 MgF_2 、 CaF_2 、 NdF_3 など)の何れかであるのが好ましい。

【0084】

次に、第3実施形態に係る回折格子素子30の実施例について説明する。図13は、実施例4の回折格子素子30Aの説明図である。この実施例4の回折格子素子30Aでは、第5媒質35は所定方向に交互に設けられた2つの媒質35a、35bからなる。実施例4の回折格子素子30Aは、第1媒質31が空気($n_1=1$)であり、第2媒質32が Ta_2O_5 ($n_2=1.98$)であり、第3媒質33が空気($n_3=1$)であり、第4媒質34が石英ガラス($n_4=1.45$)であり、第5媒質35のうち媒質35aが石英ガラス($n_{5a}=1.45$)であって媒

質 35b が空気 ($n_{5b} = 1$) であった。デューティ比 f および f_5 が 0.60 であり、格子周期 Λ が $1.01 \mu\text{m}$ であり、格子高さ H が $1.45 \mu\text{m}$ であり、第 5 媒質 35 の厚み h_5 が $0.33 \mu\text{m}$ であった。

【0085】

図 14 は、実施例 4 の回折格子素子 30A の回折特性を示すグラフである。この図には、光の入射角 θ が波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるブラッグ入射角であるときの回折効率の波長依存性が TE 偏波光および TM 偏波光それぞれについて示されている。波長帯域 $1.52 \mu\text{m} \sim 1.57 \mu\text{m}$ において、回折効率の偏波依存性および波長依存性ができる限り小さく、回折効率ができる限り大きくなるように、各パラメータが設計された。この図から判るように、実施例 4 の場合にも、広い波長域で、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率が高く 95% 以上であり、TE 偏波光および TM 偏波光それぞれの回折効率の差が 2% 以下であった。このように、本実施形態に係る回折格子素子 30 は、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる。また、実施例 4 では、第 2 媒質 32 および第 5 媒質 35 を同時にエッチングすることができるから、製造が容易である。

【0086】

(変形例)

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、回折格子部を形成する第 2 媒質および第 3 媒質の各領域の断面形状は、上記の各実施形態では長方形であるとしたが、必ずしも長方形である必要はなく、例えば台形であってもよい。デューティ比 f 、 f_5 および f_6 は、上記の各実施例では等しいとしたが、互いに異なってもよく、後者のようにすることにより回折特性が更に向上し得る。また、各実施形態の回折格子素子において、第 1 媒質の側から光が入射してもよいし、第 4 媒質の側から光が入射してもよい。

【0087】

各実施例は、波長帯域 $1.5 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$ で設計を行なったものであるが、これに限定されるものではない。回折格子の設計では、相似則が成立するので、例えば中心波長を $1.55 \mu\text{m}$ から $1.3 \mu\text{m}$ に変更する場合、長さの単位を持つ

設計パラメータ（周期や厚み）を全て $1.3 / 1.55$ 倍にすればよい。このようにして、光通信で用いられる波長帯域 $1.26 \mu\text{m} \sim 1.675 \mu\text{m}$ 内の何れかの波長を中心波長とした回折格子を容易に設計することができる。

【0088】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1実施形態に係る回折格子素子10の説明図である。

【図2】

実施例1の回折格子素子10の回折特性を示すグラフである。

【図3】

比較例1の回折格子素子の回折特性を示すグラフである。

【図4】

実施例1の回折格子素子10の回折効率と第4媒質14の屈折率 n_4 との関係を示すグラフである。

【図5】

変形例1の回折格子素子10Aの説明図である。

【図6】

変形例2の回折格子素子10Bの説明図である。

【図7】

第2実施形態に係る回折格子素子20の説明図である。

【図8】

実施例2の回折格子素子20の回折特性を示すグラフである。

【図9】

変形例の回折格子素子20Aの説明図である。

【図10】

実施例3の回折格子素子20Bの説明図である。

【図 1 1】

実施例 3 の回折格子素子 2 0 B の回折特性を示すグラフである。

【図 1 2】

第 3 実施形態に係る回折格子素子 3 0 の説明図である。

【図 1 3】

実施例 4 の回折格子素子 3 0 A の説明図である。

【図 1 4】

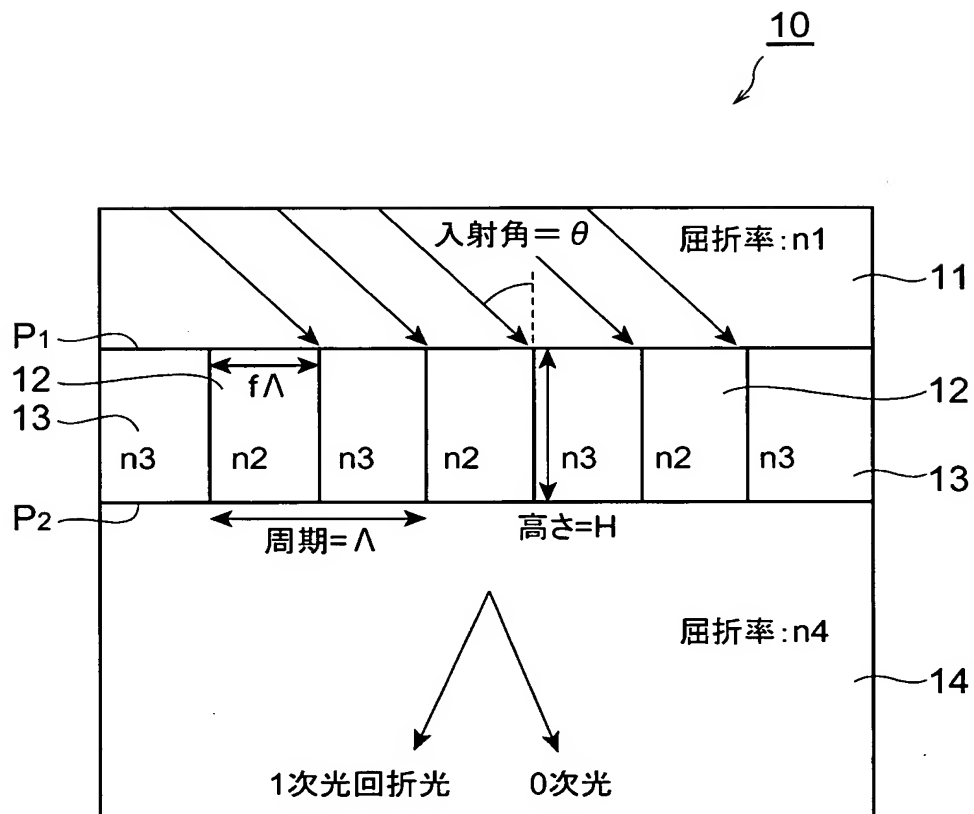
実施例 4 の回折格子素子 3 0 A の回折特性を示すグラフである。

【符号の説明】

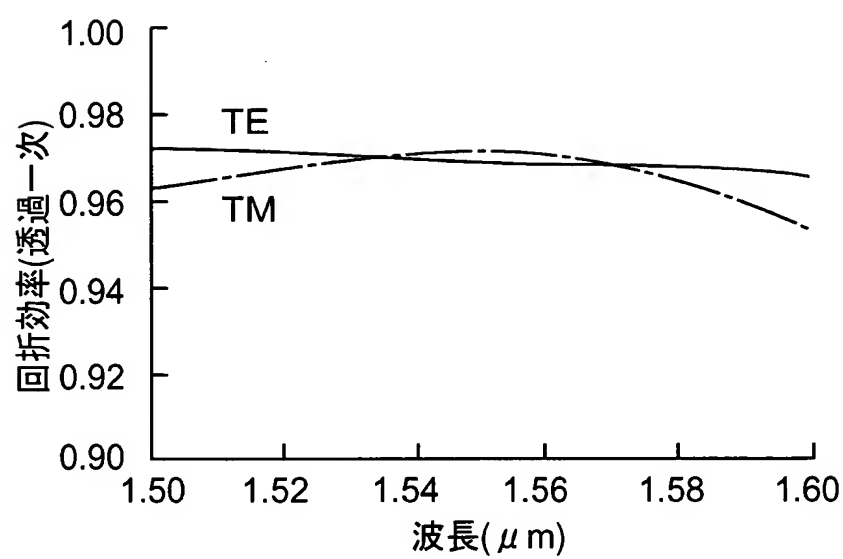
1 0 …回折格子素子、1 1 …第 1 媒質、1 2 …第 2 媒質、1 3 …第 3 媒質、1 4 …第 4 媒質、2 0 …回折格子素子、2 1 …第 1 媒質、2 2 …第 2 媒質、2 3 …第 3 媒質、2 4 …第 4 媒質、2 5 …第 5 媒質、2 6 …第 6 媒質、3 0 …回折格子素子、3 1 …第 1 媒質、3 2 …第 2 媒質、3 3 …第 3 媒質、3 4 …第 4 媒質、3 5 …第 5 媒質。

【書類名】 図面

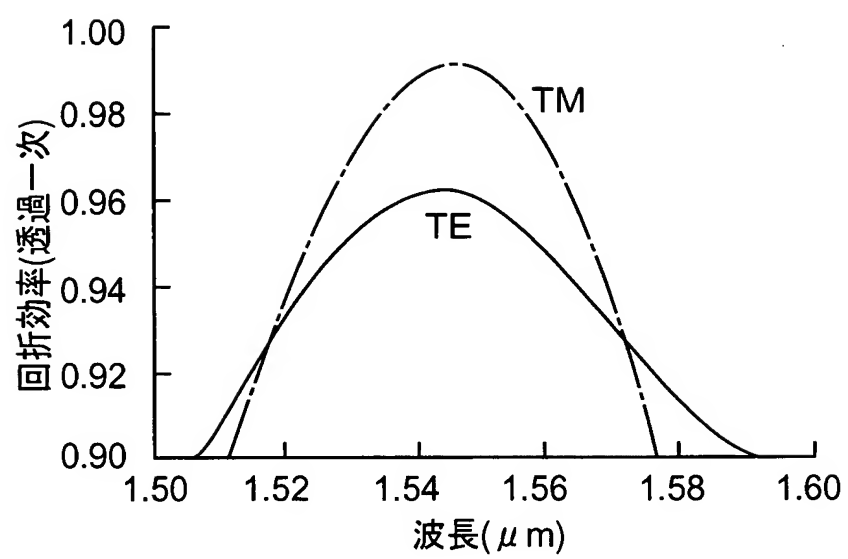
【図 1】



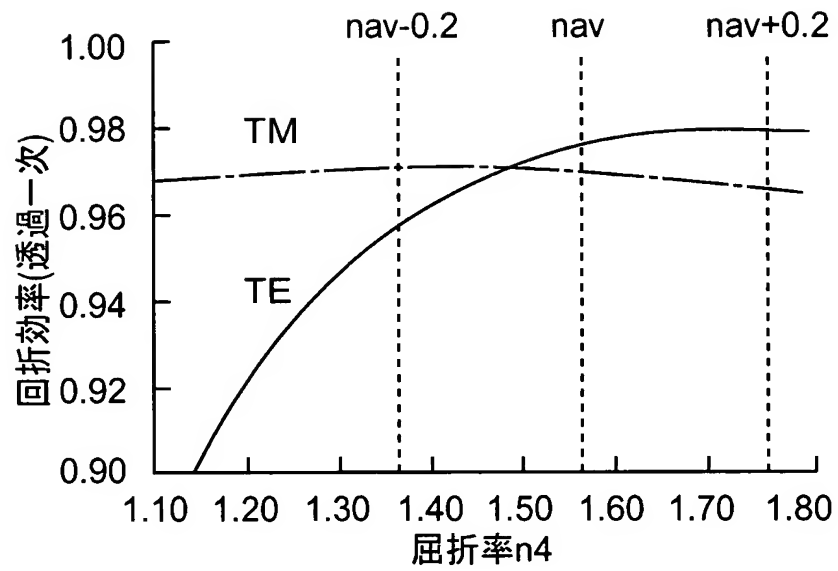
【図 2】



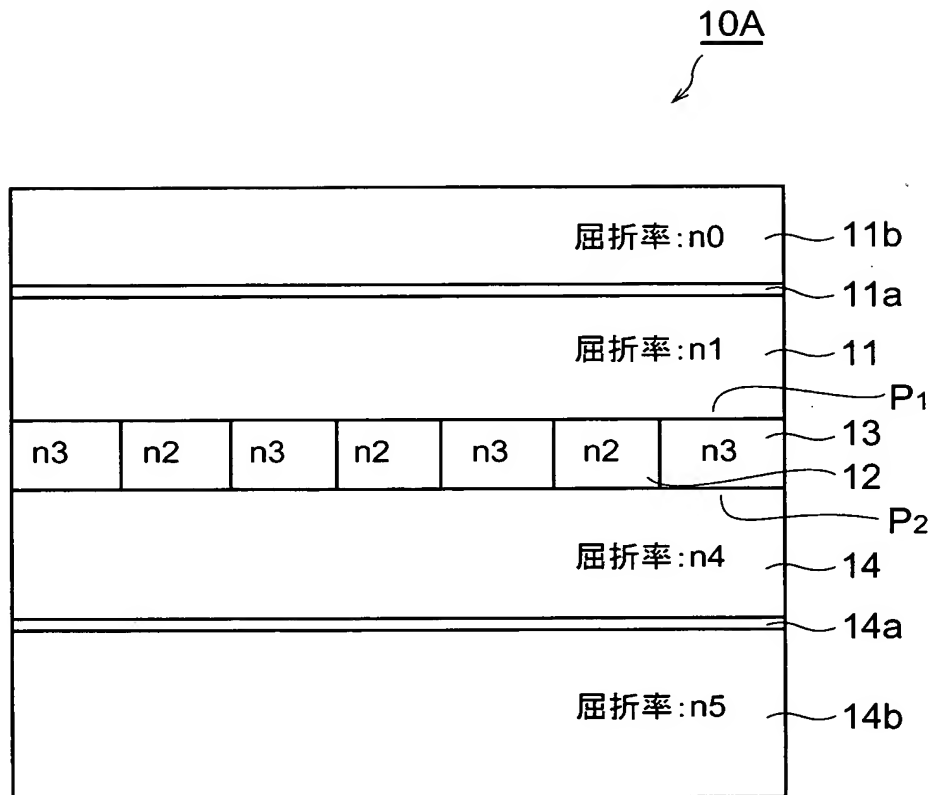
【図 3】



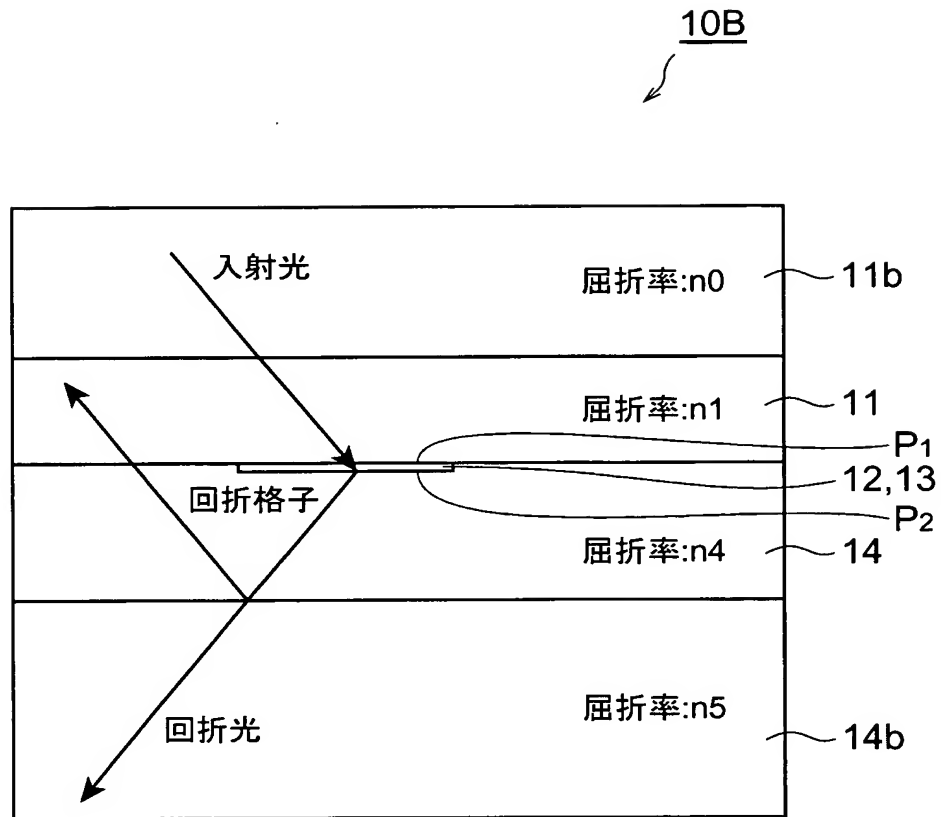
【図 4】



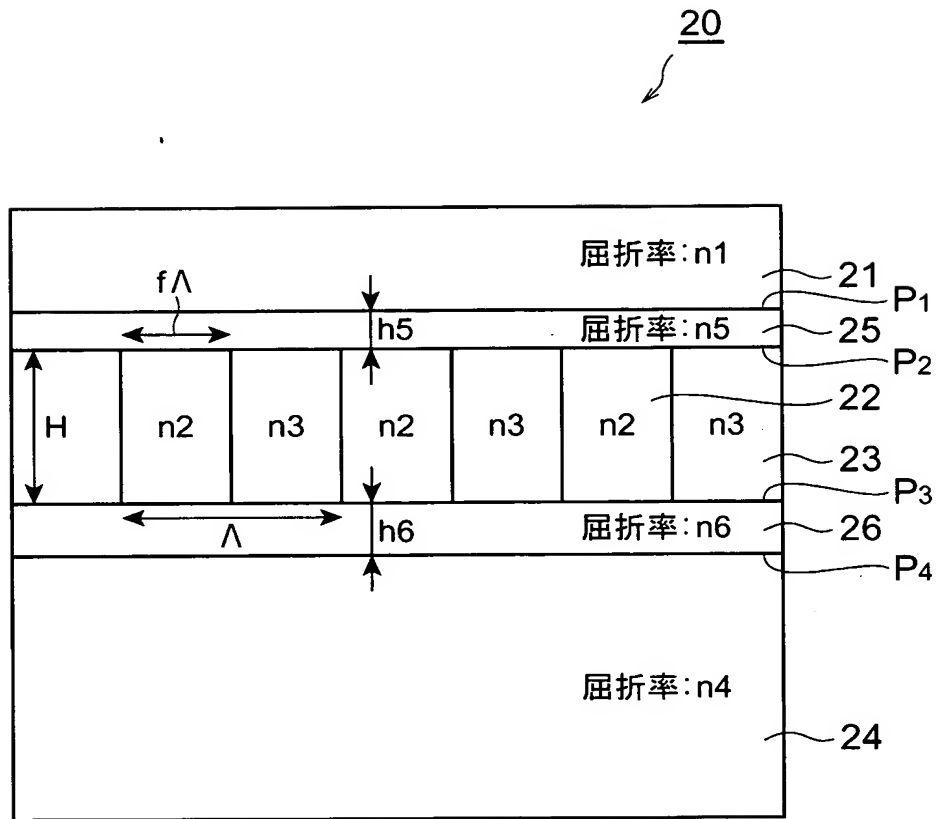
【図 5】



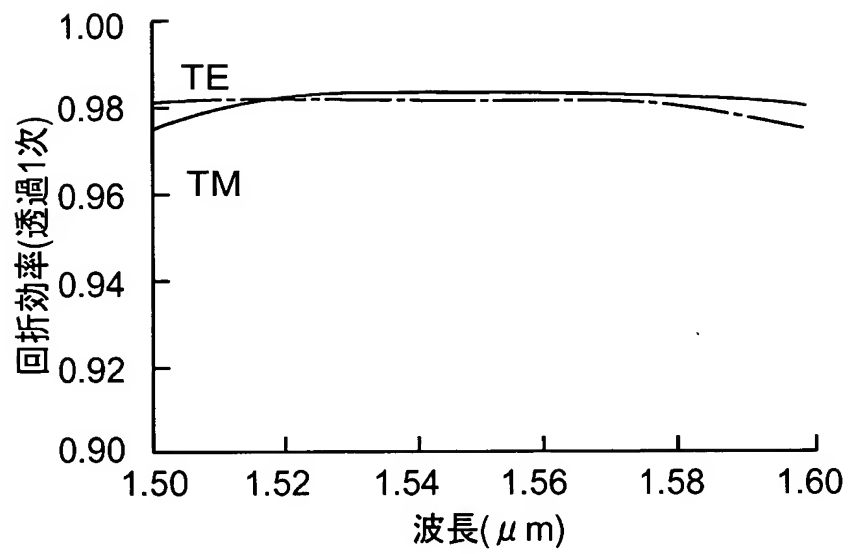
【図 6】



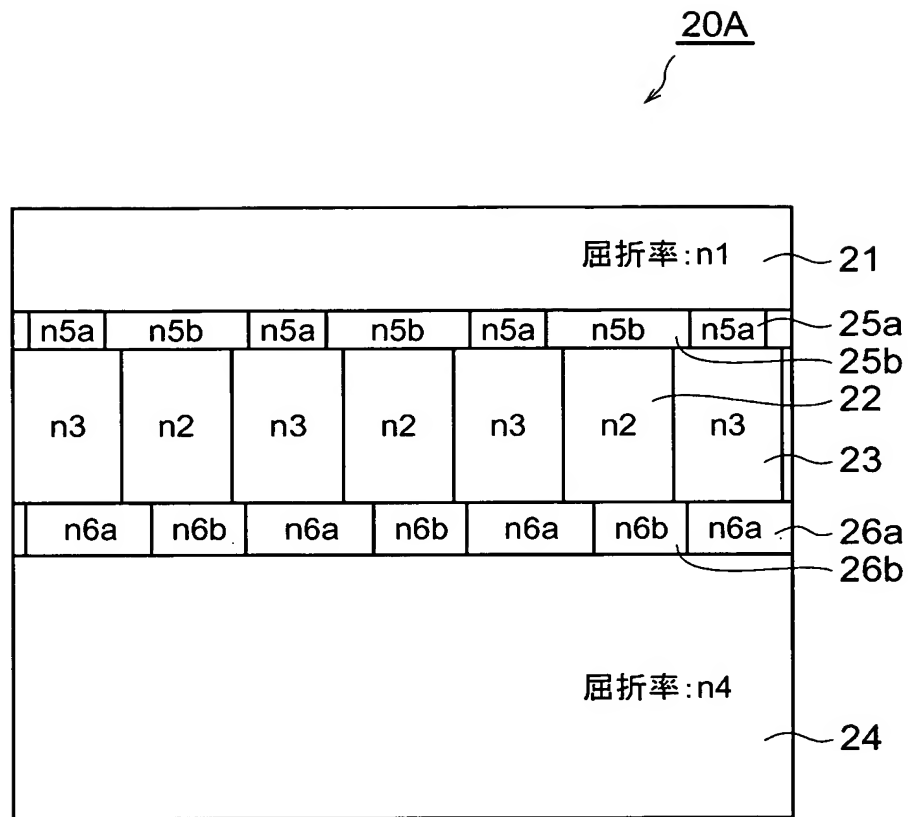
【図 7】



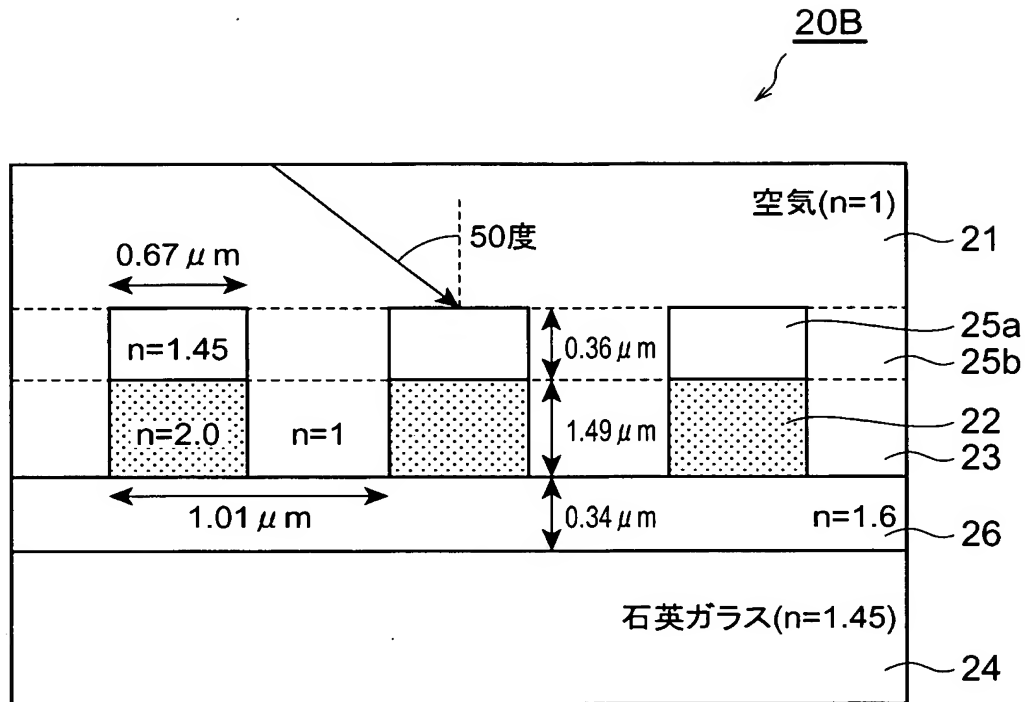
【図 8】



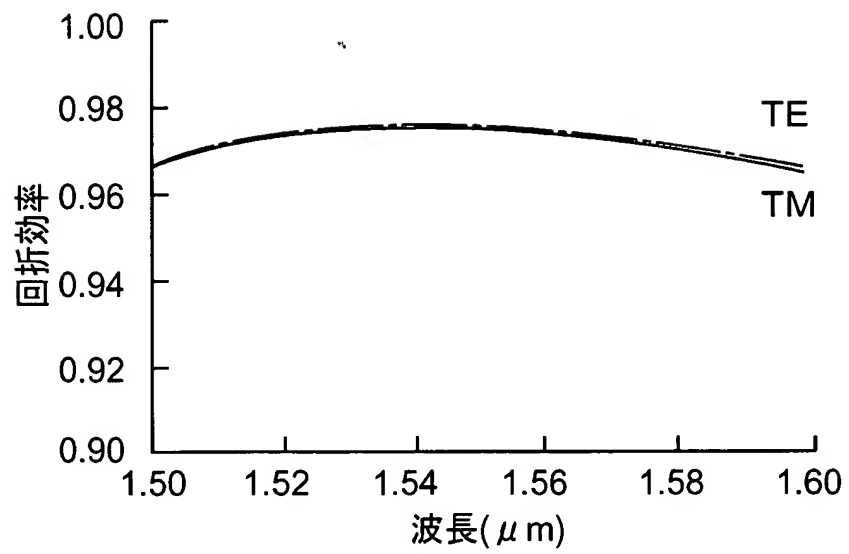
【図 9】



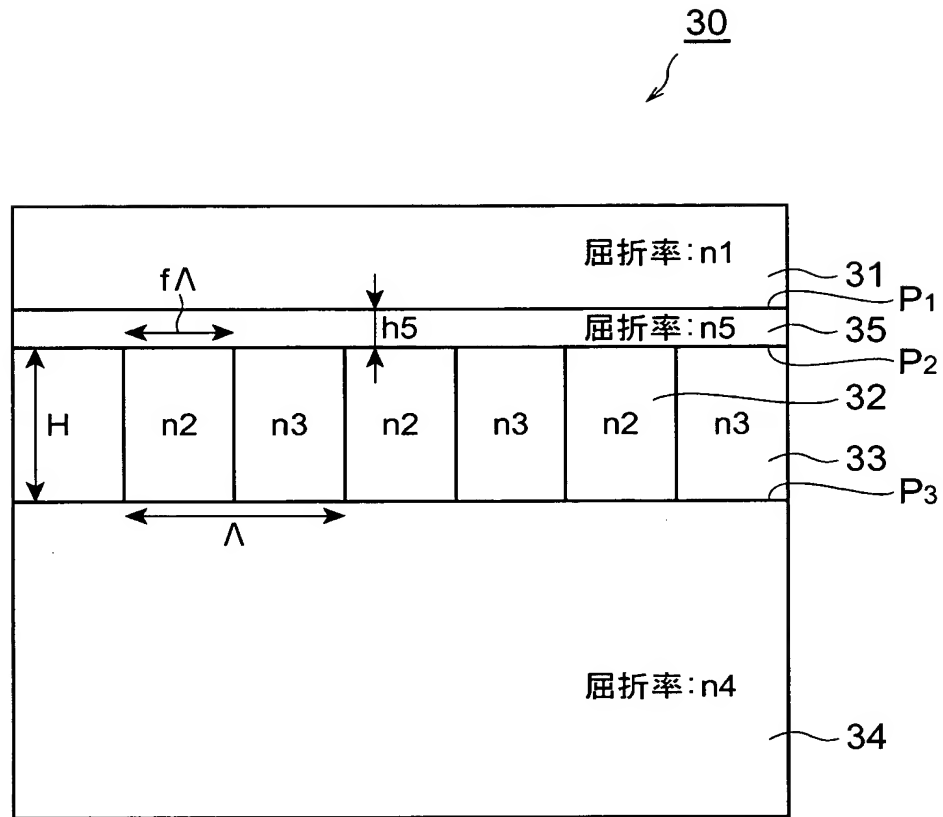
【図 10】



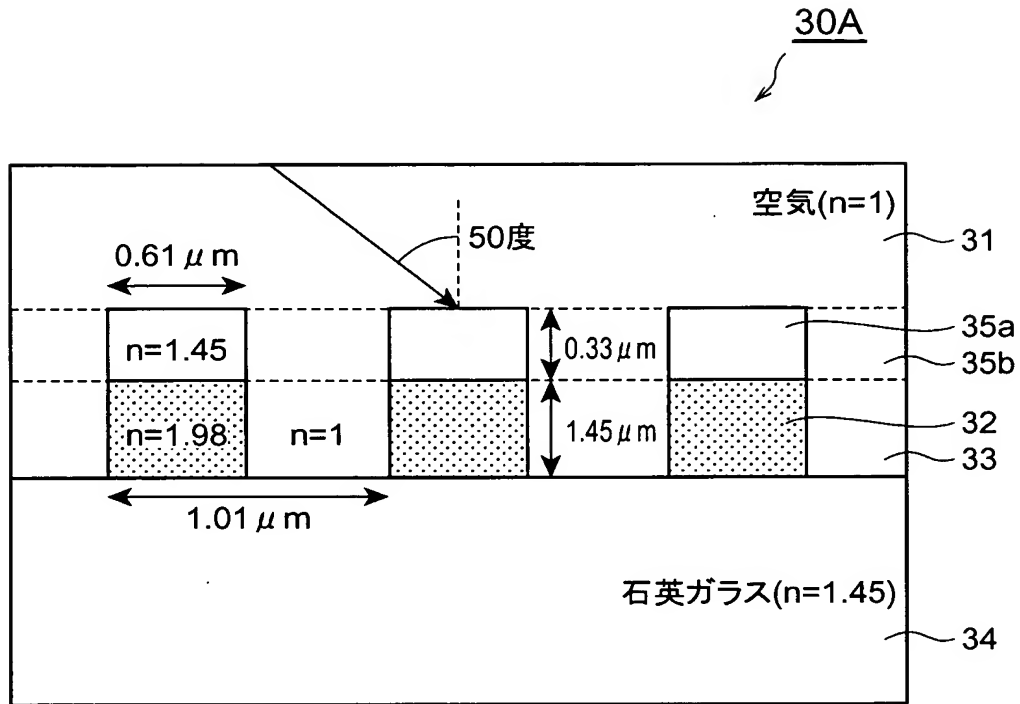
【図 11】



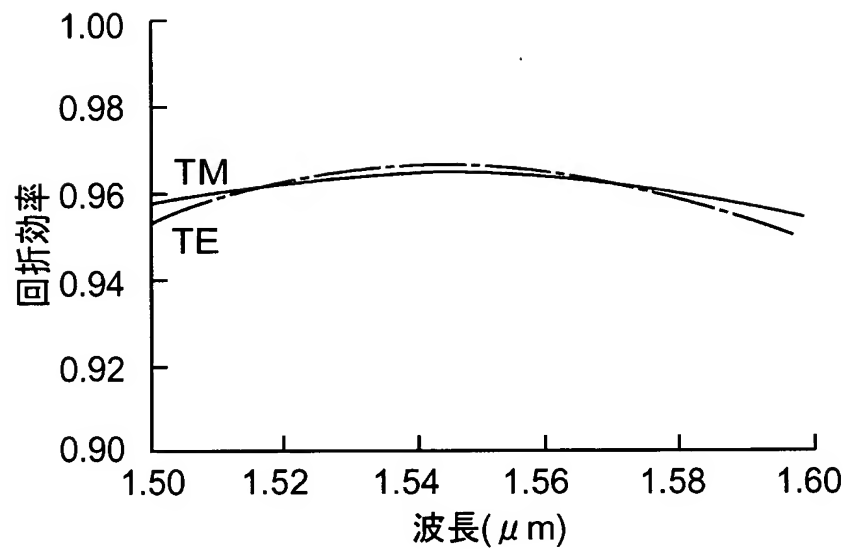
【図 12】



【図 13】



【図 14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 回折効率の向上および回折効率の偏波依存性の低減を広い波長域で実現することができる回折格子素子を提供する。

【解決手段】 回折格子素子 10 では、第 1 媒質 11 と第 4 媒質 14 との間において、第 2 媒質 12 と第 3 媒質 13 とが交互に設けられて回折格子が形成されている。第 1 媒質 11 から回折格子へ入射した光は、回折格子部において回折され、第 4 媒質 14 へ出射される。或いは、第 4 媒質 14 から回折格子へ入射した光は、回折格子部において回折され、第 1 媒質 11 へ出射される。各媒質の屈折率 $n_1 \sim n_4$ は「 $n_3 < n_1 < n_2$ 、 $n_3 \leq n_4 \leq n_2$ 」または「 $n_3 \leq n_1 \leq n_2$ 、 $n_3 < n_4 < n_2$ 」なる関係式を満たす

【選択図】 図 1

特願 2-0 0 3 - 0 4 0 1 9 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名

住友電気工業株式会社